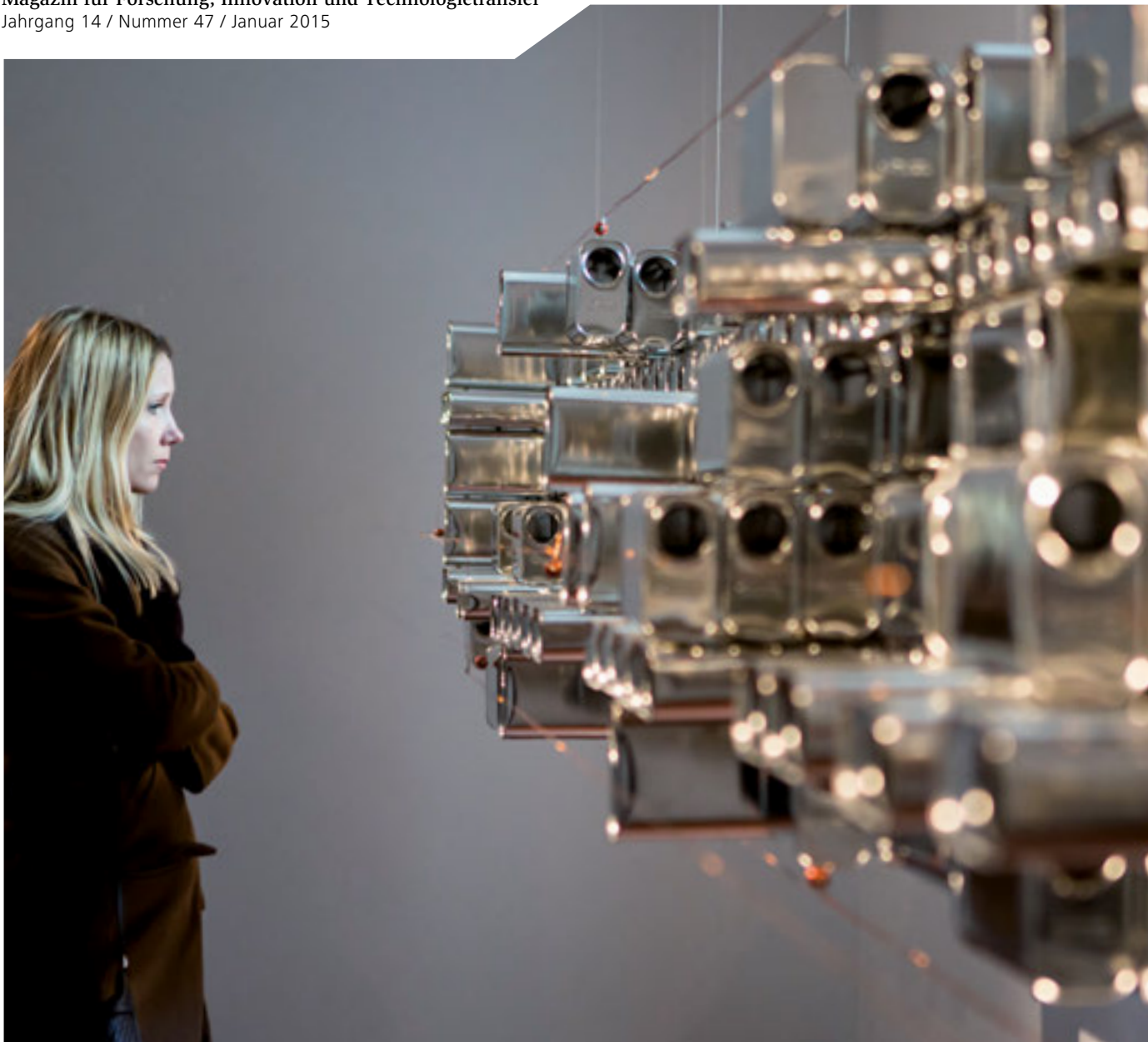


# Empa **News**

Magazin für Forschung, Innovation und Technologietransfer  
Jahrgang 14 / Nummer 47 / Januar 2015



## The Sound of Empa



Graphen – Wunderstoff  
für die Welt von morgen

Schonender Schutz  
für Brutkasten-Babys

Berufslehre an der Empa:  
8 Berufe zur Auswahl



MICHAEL HAGMANN Leiter Kommunikation

# Wissen ist schön

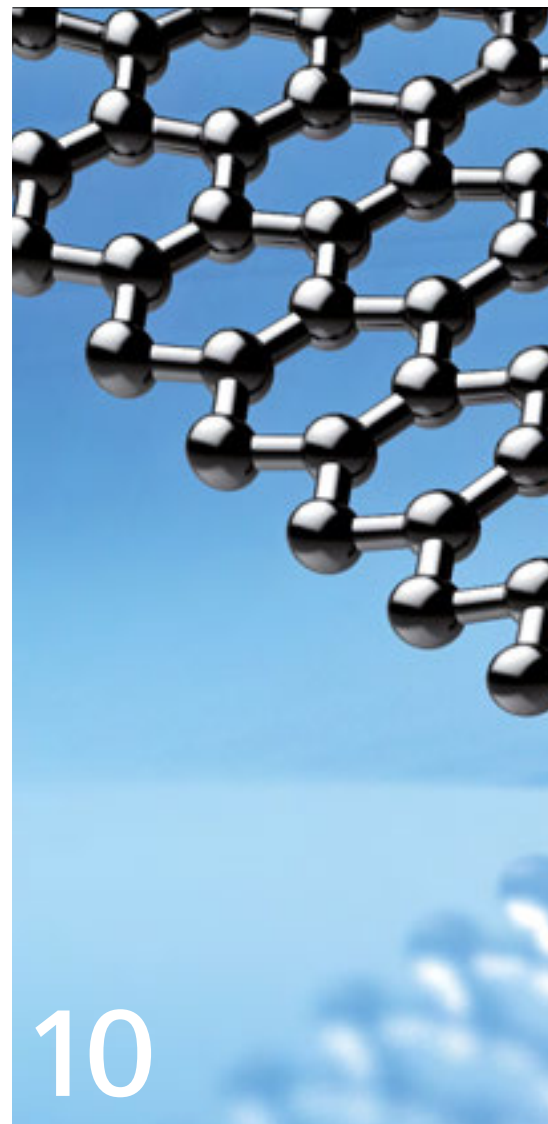
*Liebe Leserin, lieber Leser*

*Was haben die Sixtinische Kapelle und  $E=mc^2$  gemein? Beides sind Sternstunden der menschlichen Kulturgeschichte. Wenn sich Menschen aufschwingen, Kraft ihres Geistes Grossartiges zu erschaffen und einzigartige Einsichten hervorzubringen – egal in welchem Bereich –, dann ist ihnen unsere Bewunderung sicher. Und oft wohnt der Kühnheit eines Pinselstrichs die gleiche Eleganz inne wie der messerscharfen Logik eines mathematischen Beweises oder der Herleitung einer neuen physikalischen Gesetzmässigkeit. Denn sowohl Künstler wie Forscher sind Suchende, die die Welt um sie herum (und letztlich auch sich selbst) zu ergründen versuchen und dabei ständig Neuland betreten und die etablierten Grenzen des Wissens verschieben.*

*Zugegeben: Nicht allen unter uns sind diese verschiedenen Ausprägungen von «Schönheit» gleichermaßen zugänglich; es erscheint vielen einfacher, sich durch das Lächeln der Mona Lisa verzaubern zu lassen als durch die Schrödinger-Gleichung oder das Fermatsche Theorem. Und doch: Wenn Künstler wie Aernoudt Jacobs sich durch technologische Innovationen inspirieren lassen, kann an dieser Schnittstelle ungeheuer Spannendes und Neues entstehen, wie Sie auf S. 22 sehen (und im Internet auch hören) können.*

*Dass Wissenschaft oft auch im dekorativen Sinn ästhetisch ist, zeigt unser alljährlicher Tischkalender. Wenn Sie sich sputen, sind Sie vielleicht unter den 25 Gewinnern – Teilnahmebedingungen auf der letzten Seite.*

*Viel Vergnügen beim Lesen und alles Gute fürs neue Jahr!*



10



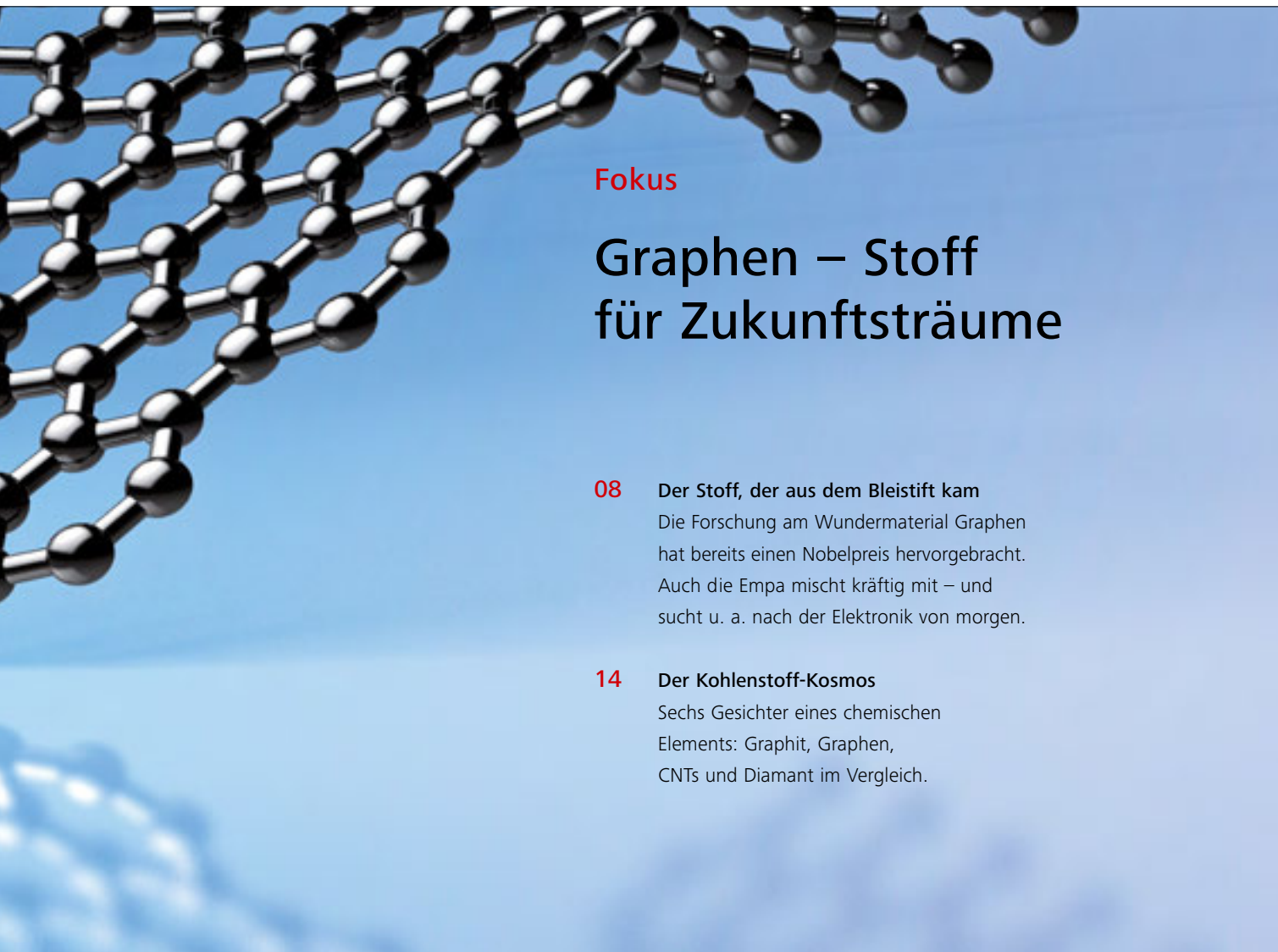
22



24

## Titelbild

*Eine Museumsbesucherin lauscht der Installation «Induction Series #4» des belgischen Physik-Künstlers Aernoudt Jacobs. Sein nächstes Klang-Kunstwerk trägt noch keinen Namen – aber es entsteht mit Unterstützung der Empa Seite 22*



## Fokus

# Graphen – Stoff für Zukunftsträume

- 08** **Der Stoff, der aus dem Bleistift kam**  
Die Forschung am Wundermaterial Graphen hat bereits einen Nobelpreis hervorgebracht. Auch die Empa mischt kräftig mit – und sucht u. a. nach der Elektronik von morgen.
- 14** **Der Kohlenstoff-Kosmos**  
Sechs Gesichter eines chemischen Elements: Graphit, Graphen, CNTs und Diamant im Vergleich.



- 04** **Ausgebildet für den Weg nach oben**  
Karriere gibts auch ohne Matur: Berufslehre an der Empa.
- 16** **Flammschutz für den Jet-Set**  
Eine neu entwickelte Möbelbeschichtung bringt Vorteile für die Industrie.
- 18** **«Die Energiezukunft gibts nicht einfach so»**  
Ein radikaler Wandel in der Stromversorgung steht bevor. Urs Elber, Geschäftsführer des Forschungsschwerpunkts Energie, über Forschungschancen, Ausblicke und Engpässe.
- 22** **Sound-Kunstwerk mit Empa-Herz**  
Klingende Installationen des Aernoudt Jacobs – und sein nächster Plan.
- 24** **Koffein-Kick für Frühchen**  
Wie man Brutkasten-Babys ganz sanft vor Atemstillstand schützt.
- 26** **Vermischtes**  
Elite-Auszeichnung für Forscher / Buchtipps

### Impressum

**Herausgeberin** Empa, Überlandstrasse 129,  
8600 Dübendorf, Schweiz, [www.empa.ch](http://www.empa.ch) /  
**Redaktion & Gestaltung** Abteilung Kommunikation /  
Tel. +41 58 765 47 33 [empanews@empa.ch](mailto:empanews@empa.ch),  
[www.empanews.ch](http://www.empanews.ch) // Erscheint viermal jährlich  
**Anzeigenmarketing** [rainer.klose@empa.ch](mailto:rainer.klose@empa.ch)  
**ISSN 1661-173X**



# Ausgebildet für den Weg nach oben

Dass der Forschungsbetrieb an der Empa rund läuft, dafür sorgen neben Wissenschaftlerinnen auch Berufsfachleute verschiedenster Couleur. Von knapp 1000 Empa-Angestellten in Dübendorf, St. Gallen und Thun haben ein Drittel ihre Laufbahn mit einer Berufslehre begonnen. Damit der «Nachschub» an Fachkräften nicht ausgeht, bietet die Empa acht Lehrberufe an und bildet aktuell mehr als 40 Lernende aus.

INTERVIEW: Martina Peter / BILDER: Empa

## Freie Lehrstellen ab 2016

15 Berufsbildner und 55 Fachbetreuer – jeweils Männer und Frauen – kümmern sich quer durch die Empa um die Lehrlinge.

### Freie Lehrstellen ab 2016

Polymechaniker/innen: 2 / Elektroinstallateur/in: 1 / Kaufmann/Kauffrau: 1  
Laborant/in Chemie: 1 / Physiklaborant/innen: 2

### Berufsinfonachmittage

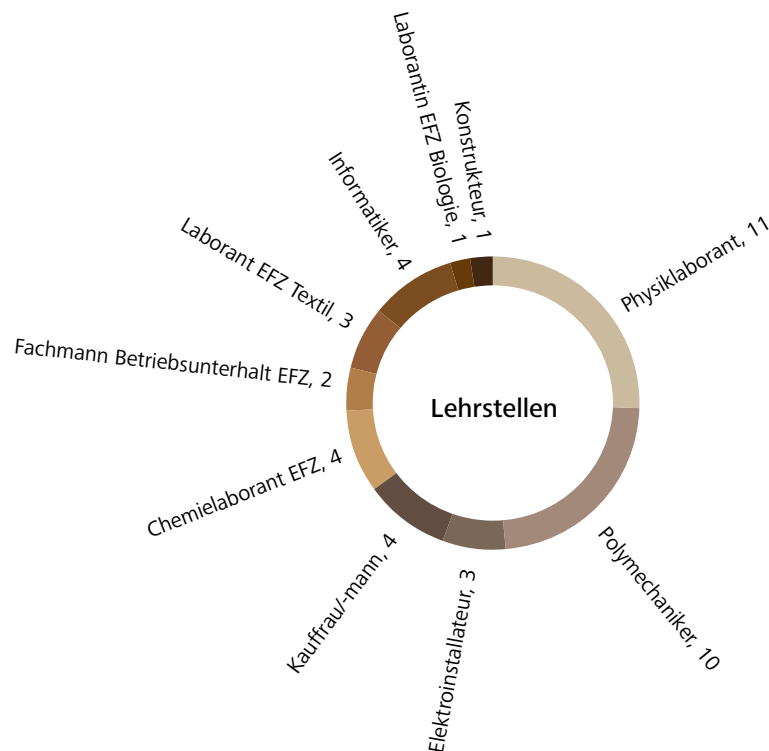
13. Mai / 1. Juli / 7. Oktober 2015

### Weitere Informationen

Nadja Nenzi, [nadja.nenzi@empa.ch](mailto:nadja.nenzi@empa.ch), Telefon 058 765 41 57  
[www.empa.ch/lehre](http://www.empa.ch/lehre)



Lehre an der Empa – der erste Schritt auf der Karriereleiter.



**N**adja Nenzi, Berufsbildungskoordinatorin und Lehrlingsrekrutierende, und Stefan Hösli, Leiter der Abteilung Konstruktion/Werkstatt und Leiter der beruflichen Grundbildung der Empa, geben im Interview einen Einblick in die Welt der Empa-Lehrlinge.

#### **Welche Lehrstellen sind zurzeit im Trend?**

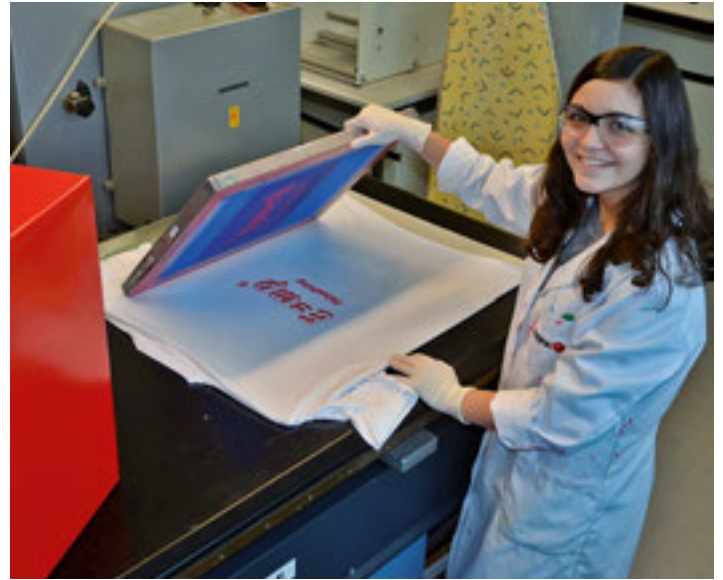
Nadja Nenzi: Der absolute Renner ist zurzeit die Ausbildung zum Chemie-Laboranten. Auf eine ausgeschriebene Lehrstelle erhalten wir bis zu 70 Bewerbungen.

#### **Die Qual der Wahl also. Aber gibt es auch Lehrstellen, für die es schwieriger ist, geeignete Bewerber zu finden?**

Stefan Hösli: Manche Berufslehren scheinen tatsächlich weniger attraktiv zu sein als andere. Sie leiden vermutlich unter dem alten Vorurteil: Wenn du es schulisch nicht draufhast, dann machst du eben eine Lehre, bei der du die Hände benützt. Dabei ist es keineswegs so, dass man als Polymechaniker, Konstrukteur oder Elektroinstallateur weniger Grips mitbringen muss als etwa bei einer kaufmännischen oder einer Laborantenlehre.

#### **Wie steht es um Berufslehren ganz generell? Eher «trendy», oder eher im Gegenwind?**

Nenzi: Naja, es hält sich immer noch das hartnäckige Vorurteil, dass einem nur mit einer Matura die Welt offensteht. Viele Eltern drängen deshalb darauf, dass ihre Kinder den gymnasialen Weg einschlagen. Leider kennen viele das Schweizer Berufsbildungssystem zu wenig. Es ist ausgesprochen durchlässig: Hier kann man es nämlich auch mit einer Berufslehre bis zu einer Professur schaffen. (Anm. der Redaktion: Auch zwei Mitglieder der sechsköpfigen Empa-Direktion haben mit einer abgeschlossenen Berufslehre begonnen und sie dann bis zum Dokortitel ausgebaut: Pierangelo Gröning startete als Elektromechaniker, Urs Leemann als Werkzeugmacher.)



*Ich profitiere davon, dass wir miteinander Englisch sprechen. Das nützt mir, wenn ich später ins Ausland will.»*

**Manuel Roth** — Physiklaborant, 3. Lehrjahr



*Ich arbeite mit verschiedenen Materialien und Farben. Ich schätze die abwechslungsreichen Arbeiten und Projekte sehr.»*

**Pierine Zeller** — Laborantin EFZ Fachrichtung Textil, 2. Lehrjahr

Wir ermuntern unsere Lernenden durchaus auch, sich zu überlegen, ob sie eine Berufsmaturität anstreben wollen. Nicht wenige, die an der Empa ihre Lehre abgeschlossen haben, studieren heute an einer Universität oder Fachhochschule.

Hösli: Wichtig ist: Mit dem Entscheid für eine Berufslehre verbaut man sich nichts. Im Gegenteil; ich halte es für eine Bereicherung, einen Schritt aus der Schule rauszumachen und in der Berufswelt Fuss zu fassen. In einem bestimmten Alter kann es durchaus sein, dass Jugendliche regelrecht «schulmüde» sind.

Nenzi: Und dann erweist es sich als Vorteil, in einem Betrieb zu arbeiten. Nach ein paar Jahren tut sich die Weggabelung wieder auf, und die jungen Leute müssen sich wieder neu entscheiden, wie sie ihren Weg fortsetzen – zurück zur Schule oder weiter in der Berufswelt.

**Was sind denn die Vorteile für die Lernenden, wenn sie ihre Berufslehre an der Empa machen?**

Hösli: Eines ist uns ganz wichtig: Die Lernenden bekommen in allen Bereichen von Anfang an produktive Aufgaben. Sie sind also keine Handlanger. Wir versuchen sie gezielt zu fördern. Es ist uns wichtig, dass sie ein gutes Fundament an Fachwissen bekommen. Das überprüfen wir regelmässig. Indem wir sie in unsere Unternehmenskultur integrieren, entwickeln sie sich auch weiter, was Selbständigkeit, Selbstdisziplin oder Eigeninitiative anbelangt. Das machen wir aber durchaus auch aus Eigennutz. Denn wenn man die Lernenden produktiv einsetzt, hat der Betrieb ebenfalls einen unmittelbaren

Nutzen davon. In den Sommerferien spüren wir beispielsweise jedes Jahr deutlich, dass die Polymechaniker-Lernenden fehlen. Sie sind ein ernst zu nehmender Produktionsfaktor und tragen damit direkt zum Erfolg der Empa bei. Angehende Berufsleute finden wahrscheinlich selten so vielfältige Aufgaben wie an der Empa. Sie arbeiten in einem stimulierenden Umfeld und vor allem an spannenden Projekten oder Prototypen.

Nenzi: Chemie- und Physiklaboranten arbeiten manchmal an Forschungsprojekten mit. Das ist abwechslungsreich und sehr motivierend. Gleichzeitig profitieren die Forschenden von ihnen: Denn im Gegensatz zu vielen Praktikanten aus der akademischen Welt bringen sie aus überbetrieblichen Grundkursen und aus der Arbeit im Betrieb bereits wichtige Kenntnisse mit. Etwa, was Sicherheitsfragen oder die Bedienung von Anlagen anbelangt.

**Wie kommt diese Art der Ausbildung bei den Lernenden an? Haben Sie dazu Feedback?**

Hösli: Ein gutes Indiz ist, dass an der Empa praktisch keine Lehren abgebrochen werden. Die Statistik des Kantons Zürich sagt: 28% der Jugendlichen brechen jedes Jahr ihre Lehre ab. Bei uns sind es über die letzten acht Jahre zwischen 0 und 5 Prozent.

**Ein enorm tiefer Wert. Woran liegt das Ihrer Meinung nach?**

Nenzi: Wir schauen bereits bei der Rekrutierung sehr gut hin und wollen wissen, ob die KandidatInnen motiviert sind. Gute Erfahrungen haben wir übrigens auch



*Ich weiss oft nicht, was mich  
am nächsten Tag erwartet.  
Ich werde gerufen,  
wo man mich braucht.»*

**Nico Bischof** — Fachmann Betriebsunterhalt, 3. Lehrjahr



*Mit meiner Begeisterung für  
Mathematik, Physik und Geometrie  
ist die Lehre als Konstrukteur  
genau das Richtige für mich.»*

**Cyрил Jaggi** — Konstrukteur, 1. Lehrjahr

schon mit BewerberInnen gemacht, die eine körperliche Behinderung haben. Vor kurzem habe ich einen intelligenten jungen Mann als KV-Lernenden eingestellt, der hörgeschädigt ist. Bei einer teilweise gelähmten Bewerberin für eine Chemielaborantenstelle haben wir eine zwei-tägige Schnupperlehre organisiert. Wir haben nachher zusammen herausgefunden, dass es ihr aufgrund ihrer Behinderung nicht möglich war, gewisse Handreichungen ruhig durchzuführen. Das war für sie ein zwar schmerzhafter, aber wichtiger Lernprozess mit der Einsicht, dass sie sich wohl besser nach einer anderen Lehrstelle umsehen sollte.

#### **Das bedeutet aber sicher auch viel Aufwand...**

Nenzi: Längerfristig gesehen sehe ich unseren Einsatz in der Betreuung der Lernenden als wichtigen Beitrag an die Gesellschaft. Wir können nicht Berufsleute suchen und uns beklagen, dass wir keine finden, wenn wir nicht selber welche ausbilden. So funktioniert das System in der Schweiz.

Hösl: Als Wissenschaftsbetrieb steht es der Empa gut an, jedes Jahr mehr als 40 Lehrstellen anzubieten. Wir pflegen ja auch viele Kontakte mit kleinen und mittelgrossen Unternehmen, in denen Berufsfachleute am Ruder sind. Denen signalisieren wir: Die Empa trägt als Forschungsinstitut mit Innovationen und Wissenschaft zur Zukunft bei. Dazu gehören aber auch junge Leute, die die Innovationen für die Wirtschaft begleiten, anwenden und produzieren. Diese bilden wir hier an der Empa ebenfalls aus. //

## Ausgezeichnet!

Vier Lernende der Empa wurden Anfang 2014 am Zürcher Oberländer Lehrlingswettbewerb ausgezeichnet. Die Physiklaboranten Nadja Rutz, Adrian Keller, Simon Holdener und Andreas Freese gewannen den 1. Preis für ihr Projekt «3D-Electronic-Gadget Printing». Darin hatten sie mit einem 3-D-Drucker eine voll funktionsfähige Taschenlampe hergestellt.



Das Lehrlingsteam der Empa v. l. n. r. Nadja Rutz, Simon Holdener, Adrian Keller, Andreas Freese.

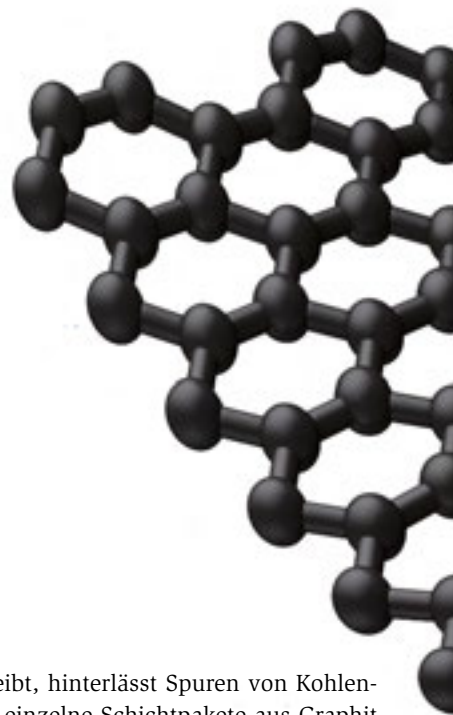
# Der Stoff, der aus dem Bleistift kam

Mit Klebeband und Graphit, wie es in einer Bleistiftmine steckt, bewiesen zwei Physiker, dass Graphen, das «Wundermaterial der Zukunft», tatsächlich existiert – und bekamen dafür den Physik-Nobelpreis. Auch an der Empa erforschen Wissenschaftler die Eigenschaften von Graphen. Sie gehen etwa der Frage nach, wie sich aus Molekülen Graphen-Nanostrukturen erzeugen lassen, die einst als elektronische Bauteile dienen können.

TEXT: Martina Peter / BILDER: iStockphoto, Empa, Chalmers University of Technology







**W**er mit Bleistift schreibt, hinterlässt Spuren von Kohlenstoff. Dabei werden einzelne Schichtpakete aus Graphit von der Bleistiftmine abgerieben. Würde man das nun weiter treiben und trüge man die Schichten bis zur letzten Atom- schicht ab, so stiesse man auf Graphen. Denn Graphit – also die Mine des Bleistifts – ist nichts anderes als millionenfach übereinander gestapelte Graphenschichten. Was allerdings überrascht: Das mit einer gewöhnlichen Bleistiftmine verwandte Graphen entpuppt sich als Material mit ganz aussergewöhnlichen Eigenschaften: Es ist fest wie Diamant, gleichzeitig aber flexibel, es leitet hervorragend Strom und Wärme, ist ultraleicht, reissfest und nahezu transparent. Ein Material, das dereinst für unterschiedlichste Anwendungen in den Bereichen Elektronik, Kommunikationstechnik, Energieerzeugung und -speicherung, im Fahrzeugbau und vielem mehr eingesetzt werden könnte. Und dessen Erforschung sich in den kommenden Jahren ein milliardenschweres «Flagship»-Projekt der EU zum Ziel gesetzt hat.

**Graphen existiert tatsächlich: simpler, aber genialer Nachweis**

Für die Wissenschaft war es bis 2004 unvorstellbar, dass eine monoatomare, zweidimensionale Schicht wie Graphen unter Normal-

bedingungen überhaupt existieren konnte. Man vermutete, dass sich ein derartiges Gebilde spontan zersetzen würde. Bis zwei Wissenschaftler der «University of Manchester» in der Fachzeitschrift «Science» von einer unerhörten Entdeckung berichteten. Konstantin Novoselov und Andre Geim führten vor, wie sie Graphen ganz einfach hergestellt hatten. Mit simplem Klebeband hatten sie von einer Graphitoberfläche so lange Material abgetragen, bis dieses nur noch aus winzigen, durchsichtigen Flocken bestand. Um diese sichtbar zu machen, haften die Forscher das Klebeband auf eine Siliziumplatte und übertrugen die Flocken darauf. Mit UV-Licht angestrahlt, reflektierten die Flocken auf der Platte in einer anderen Farbe als die Umgebung. Die Untersuchung der Proben mit dem Rasterkraftmikroskop ergab: Hier handelte es sich tatsächlich um Graphen – einatomige Schichten von Kohlenstoffatomen, angeordnet in einer bienenwabenartigen, ausserordentlich stabilen Struktur. 2010 erhielten Novoselov und Geim für ihre bahnbrechenden Experimente den Nobelpreis für Physik.

Mit der Veröffentlichung ihres Artikels lösten Geim und Novoselov eine grosse Begeisterung in der Wissenschaftsgemeinschaft aus. Zahlreiche Forschungsteams begannen,



Illustration einer Graphenschicht.  
(Chalmers University of Technology)

## Graphen – der Stoff mit wundersamen Eigenschaften

- ist 300 000 Mal dünner als ein Blatt Papier
- ist ultraleicht; 1 Quadratkilometer Graphen wiegt nur gerade ca. 250 g
- ist das mechanisch festeste je vermessene Material
- ist äusserst flexibel; es kann um bis zu 20% gedehnt werden, ohne zu reißen
- ist nahezu transparent
- ist undurchlässig für sämtliche Gase
- leitet Wärme hervorragend; das Material verfügt über eine mehr als doppelt so hohe Wärmeleitfähigkeit wie eine dünne Kupferschicht
- leitet auch Strom extrem gut, Elektronen bewegen sich darin 200-mal schneller als in Silizium
- hat die grösste bisher gemessene spezifische Oberfläche – ein Gramm hat eine Oberfläche von 1½ Fussballfeldern

sich mit Graphen zu beschäftigen; die Industrie wurde hellhörig. Da sich die Klebeband-Methode nicht für eine Herstellung im industriellen Massstab eignete, suchte man nach anderen Methoden, um Graphen zu gewinnen. Viele davon basieren auf dem so genannten Top-down-Ansatz: Durch chemische Exfoliation werden einzelne Graphenschichten aus Graphit herausgelöst – ganz ähnlich wie dies Novoselov und Geim mit ihrer Klebebandmethode vorgemacht hatten. Andere Gruppen zeigten, dass Graphen mit Hilfe der klassischen «Chemical Vapor Deposition»-Technik auf katalytisch wirkendem Kupfer abgeschieden werden kann. Sony präsentierte letztes Jahr eine über 100 Meter lange und 21 cm breite Graphenfolie.

### Kleinste elektronische Bauteile

Die extrem hohe Leitfähigkeit und die damit verbundene geringe Verlustleistung von Graphen faszinieren vor allem Forscher, die sich mit Elektronikbauteilen beschäftigen.

Denn im Zug der Miniaturisierung von Bauteilen steuert man mit dem traditionellen Silizium als Halbleitermaterial allmählich auf physikalische Grenzen zu. Zuverlässige Bauteile im Nanometermassstab stehen auf der Wunschliste der Elektronikwelt ganz oben.

Würde sich Graphen als möglicher Ersatz für Silizium und Co. eignen? Ja, waren auch die Forscher der Empa-Abteilung «nanotech@surfaces» um Roman Fasel, Titularprofessor für Physikalische Chemie an der Universität Bern, überzeugt.

Allerdings nur, wenn sich ein Weg finden liesse, die extrem hohe elektrische Leitfähigkeit von Graphen zeitweise auch zu unterbinden. Denn elektronische Schalter müssen Strom auch abschalten können. Das ist bei Graphen eigentlich nicht möglich, weil ihm als Halbmetall die dafür notwendige elektronische Bandlücke fehlt – der Energiebereich, in dem sich keine Elektronen befinden können.

Aus theoretischen Überlegungen wusste man: Im Gegensatz zu grossflächigen Graphenschichten weisen extrem schmale Graphenbänder die gewünschte Bandlücke auf. Dies aufgrund quantenmechanischer Effekte. Graphen eignet sich also – zumindest theoretisch – als Halbleiter. Doch wie lassen sich derart schmale, nur wenige Nanometer breite Graphenbänder herstellen?

Erste Versuche hatten Wissenschaftler bereits mit Top-down-Methoden angestellt: Aus einer Graphenschicht schnitten sie mit lithografischen Methoden schmale Bänder heraus. Doch schnell zeigte sich, dass offenbar auch die Beschaffenheit der Ränder von grosser Bedeutung für die Eigenschaften des Graphenbandes ist. Beim Schneiden einer Graphenschicht entstehen «ausgefranste», unregelmässige Ränder. Um die gewünschten, von der Theorie prognostizierten elektronischen Eigenschaften zu erreichen, müssen die Ränder jedoch perfekt regelmässig sein. Doch wie liess sich das bewerkstelligen?

### Dann eben aus Molekülen wachsen lassen

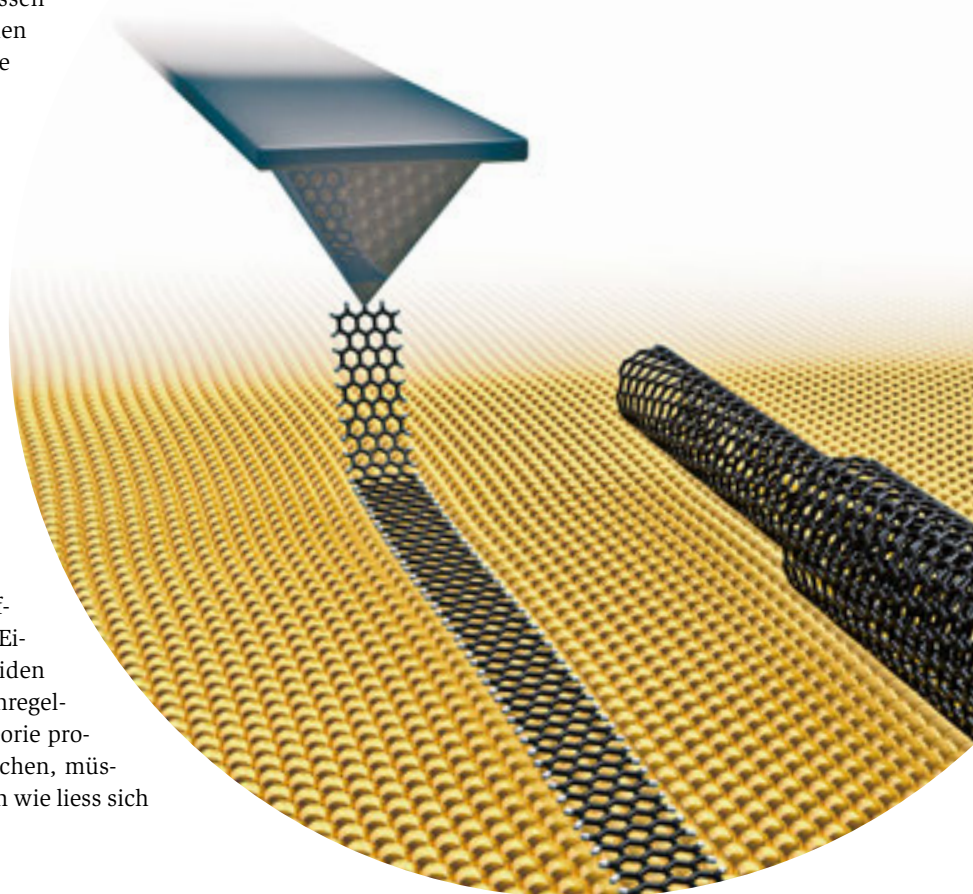
2010 gelang es dem Empa-Team um Roman Fasel in Zusammenarbeit mit Chemikern des Max-Planck-Instituts für Polymerforschung in Mainz um Klaus Müllen, wenige Nanometer breite Graphenbänder mit genau definierten Rändern herzustellen. Sie wählten dabei einen Bottom-up-Ansatz: Auf Metalloberflächen liessen sie die Bänder gezielt aus sorgfältig ausgewählten Vorläufermolekülen wachsen.

## Abschied vom goldenen Fundament

Ganz nebenbei lösten die Empa-Wissenschaftler ein weiteres Problem: Wie integriert man Nanobauteile auf Graphen-Basis in die herkömmliche, vor allem Silizium-basierte Halbleiterindustrie? Konkret: Wie überträgt man die ultradünnen Graphenbänder vom Goldsubstrat, auf dem sie wuchsen, auf eine andere – nicht-leitende – Oberfläche? Denn Graphenbauteile auf einer Metalloberfläche sind als elektronische Schalter nicht zu gebrauchen. Gold leitet nämlich und erzeugt dadurch einen Kurzschluss, der die interessanten halbleitenden Eigenschaften des Graphenbands «sabotiert». Dem Team von Roman Fasel gelang es gemeinsam mit Kollegen vom Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz zu zeigen, dass sich Graphenbänder durch einen relativ einfachen Ätzprozess intakt auf ein (fast) beliebiges Substrat übertragen lassen.

«Graphene nanoribbon heterojunctions», J. Cai, C. A. Pignedoli, L. Talirz, P. Ruffieux, H. Söde, L. Liang, V. Meunier, R. Berger, R. Li, X. Feng, K. Müllen, R. Fasel, Nature Nanotechnology, 7 September 2014, Vol. 9, pp 896–900, doi.org/10.1038/nnano.2014.184

Leitfähigkeitsmessung an einem Graphenband (links) und einem Kohlenstoffnanoröhrchen (rechts): Mit der Spitze eines Rastertunnelmikroskops werden die Carbon-Nanostrukturen kontaktiert und angehoben. So lässt sich der Stromfluss durch die Struktur bestimmen.



Dabei konnten sie zeigen: je schmaler die Bänder, desto grösser die Bandlücke – genau wie von der Theorie vorausgesagt. Die Kunst bestand darin, die richtigen Moleküle zu finden, die auf Oberflächen zu wohldefinierten Graphenstrukturen heranwachsen. Simulationen am Empa-Hochleistungscomputer «Ipazia» halfen ihnen, die optimalen Bedingungen für das Wachstum ausfindig zu machen.

Durch wiederholtes Wechselspiel zwischen Computersimulation und Experimenten, verbunden mit Messungen der elektronischen Eigenschaften am Rastertunnelmikroskop, gelang es den Empa-Forschern schliesslich, die Herstellungsprozesse zu perfektionieren. Sie bauten durch molekulares «Lego» verschieden breite Graphenbänder mit unterschiedlichen Rändern: in Zickzackform oder nebeneinander liegenden Buchten, die an Armsessel (armchair) erinnern.

Doch nicht nur das; indem sie an genau definierten Positionen innerhalb der Graphenbänder «Fremdatome» wie Stickstoff einbauten, gelang es Fasel und Co., wie sie 2014 in «Nature Nanotechnology» beschrieben, deren elektronischen Eigenschaften noch weiter zu beeinflussen. Reiht man beispielsweise auf einer Goldoberfläche «normale» und mit Stickstoff dotierte Segmente aneinander, entstehen zwischen den einzelnen Segmenten so genannte Heteroübergänge. Die Forscher konnten zeigen, dass diese ähnliche Eigenschaften aufweisen wie ein klassischer p-n-Übergang – also ein Übergang von einer Region positiver zu einer Region negativer Ladungen in einem Halbleiterkristall. Anders gesagt: die strukturelle Grundlage für zahlreiche Bauelemente der Halbleiterindustrie.

Neben der Breite der Bänder können die Forscher nun auch die Stickstoffdotierung gezielt einstellen; es gibt nun also zwei

## Aus Molekülen lassen sich auch Kohlenstoffnanoröhrchen herstellen

Die viel versprechenden Versuche mit den massgeschneiderten Graphennanobändern haben an der Empa eine Vorgeschichte. Vor mehr als 10 Jahren versuchten Forscher um Pierangelo Gröning bereits einmal, Kohlenstoffnanostrukturen, so genannte Kohlenstoffnanoröhrchen (carbon nanotubes, CNT), für elektronische Anwendungen einzusetzen. «Das Problem damals war», beschreibt Gröning, «dass es dutzende Typen von CNTs gibt, welche sich elektronisch alle weniger oder mehr voneinander unterscheiden. 2000 sahen wir nicht, wie es möglich sein könnte, einen wohldefinierten Typ von CNTs in reiner Form herzustellen». Nach den Erfolgen mit dem molekularen Selbstaufbau der Graphenbänder überlegten sich die Empa-Forscher, dass es prinzipiell auch möglich sein müsste, CNTs kontrolliert aus geeigneten Vorläufermolekülen «wachsen» zu lassen. Die dafür notwendigen Moleküle – planare polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe – erhielten sie von Konstantin Amsharov und Martin Jansen vom Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart. Diese hatten sich schon länger mit der Idee getragen, CNTs kontrolliert aus Vorläufermolekülen zu synthetisieren.

Zusammen gelang es den Forschern, die planaren Moleküle zu einer dreidimensionalen «Kappe», dem Keimling, umzuformen – ähnlich wie beim Origami aus einem Blatt Papier ein räumliches Gebilde entsteht. In einem zweiten Schritt fügten sie, wie bei der klassischen CNT-Synthese, weitere Kohlenstoffatome an, die sich an den offenen Rand zwischen Kappe und Oberfläche anhefteten. So wuchs das Röhrchen langsam in die Höhe. Der Clou an der Sache: Die atomare Struktur des CNT – und dadurch dessen elektronische Eigenschaften – werden ausschliesslich durch den ursprünglichen Keimling bestimmt. Auf diese Weise konnten die Forscher erstmals überhaupt strukturell reine CNTs herstellen. Die Arbeit brachte es im August 2014 sogar auf die Titelseite des renommierten Wissenschaftsmagazins «Nature». In der Fachwelt wurden die Ergebnisse bereits kurz nach Erscheinen als lang ersehnter Durchbruch in der Entwicklung von strukturell reinen Nanoröhrchen gefeiert. So etwa bemerkt James M. Tour, Professor an der Rice Universität in Houston, ebenfalls in «Nature»: «Es ist zwar beschämend, wenn man bedenkt, dass es mit dem selektiven Wachstum der winzigen Strukturen so lange gedauert hat. Aber es ist tröstlich zu sehen, dass es nun so definitiv gemacht wurde.»

«Knöpfe», an denen die Forscher drehen können, um die elektronischen Eigenschaften der Graphennanobänder zu beeinflussen. In der Fachwelt hat die Arbeit der Empa-Forscher (siehe Literaturverzeichnis) bereits hohe Wellen geschlagen. Sie bietet Materialwissenschaftlern und Elektroingenieuren «enormen Raum, Eigenschaften on demand herbeizuführen», schreibt beispielsweise Hinran Wang, Leiter des nationalen Labors für Festkörper-Mikrostrukturen der chinesischen Universität Nanjing, in der November-Ausgabe von «Nature Nanotechnology».

#### Auch für Sensoren oder Fotovoltaik geeignet

Ausser für elektronische Bauteile könnten sich Graphenbänder auch für den Bau neuartiger hochempfindlicher Sensoren eignen. Denn Graphenbänder reagieren äusserst empfindlich auf ihre Umgebung – ihre elektronischen Eigenschaften ändern sich signifikant, wenn sich Fremdmoleküle anlagern. Und selbst fotovoltaische Elemente könnten dereinst auf Graphen basieren, wie Pascal Ruffieux – ebenfalls aus der Empa-Abteilung «nanotech@surfaces» – und seine Kolleginnen und Kollegen vor kurzem herausfanden. Ihnen war aufgefallen, dass besonders schmale Graphenbänder sichtbares Licht aussergewöhnlich gut absorbieren und sich daher hervorragend als Absorberschicht in organischen Solarzellen eignen. Im Gegensatz zu «normalem» Graphen, das Licht bei allen Wellenlängen gleich stark absorbiert, kann die Lichtabsorption bei Graphennanobändern für bestimmte Wellenlängen massiv erhöht werden, indem die Forscher die Breite der Graphenbänder atomar präzise «einstellen».

Mit dem Einsatz von Graphenbändern in der Elektronikwelt ist allerdings noch nicht gleich morgen zu rechnen, sagt Fasel. Gründe dafür sind Probleme beim Hochskalieren auf Industriemassstäbe oder beim Ersetzen von etablierter konventioneller Elektronik auf Siliziumbasis. Fasel schätzt, dass es noch 10 bis 15 Jahre dauern dürfte, bis die ersten elektronischen Schalter aus Graphenbändern in einem Produkt verwendet werden könnten. Dass die Forscher um Fasel jedoch nicht nur Grundlagenforschung betreiben, zeigt die schon über mehrere Jahre dauernde Zusammenarbeit mit BASF, aus der u. a. sechs Patente hervorgingen.

Auch andernorts steht Graphen hoch im Kurs. Weltweit wurden die Budgets für industrielle Forschungsprojekte vervielfacht. Zudem will die EU den industriellen Durchbruch in den nächsten zehn Jahren vorantreiben und investiert eine halbe Milliarde Euro in das Flaggschiffprojekt «Graphene», um Projekte in ganz Europa hälftig mitzufinanzieren. Beteiligt sind 142 akademische und industrielle Forschungsgruppen aus 23 Ländern. Darunter sechs Schweizer Institute – die ETHs Zürich und Lausanne, die Universitäten Zürich, Basel und Genf und die Empa. Die Arbeiten der Empa zu Graphen wurden finanziert durch den Schweizerischen Nationalfonds, das Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (COST-Aktion NanoTP), das US Office of Naval Research, die European Science Foundation sowie BASF. //

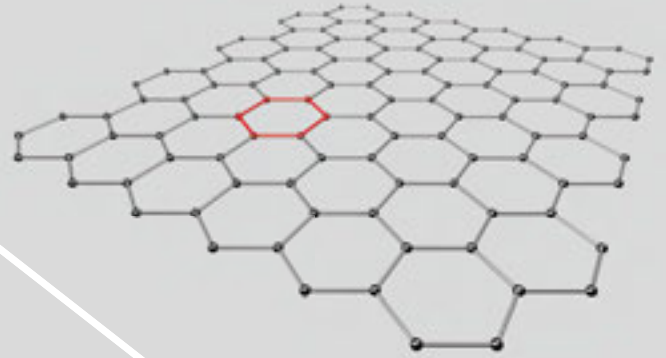
«Exciton-dominated optical response of ultra-narrow graphene nanoribbons», R. Denk, M. Hohage, P. Zeppenfeld, J. Cai, C. A. Pignedoli, H. Söde, R. Fasel, X. Feng, K. Müllen, S. Wang, D. Prezzi, A. Ferretti, A. Ruini, E. Molinari, P. Ruffieux, Nature Communications, 8 July 2014, Vol. 5, p 4253, doi.org/10.1038/ncomms5253



«Controlled Synthesis of Single-Chirality Carbon Nanotubes», J. R. Sanchez-Valencia, T. Dienel, O. Gröning, I. Shorubalko, A. Mueller, M. Jansen, K. Amsharov, P. Ruffieux & R. Fasel, Nature, 7 August 2014, Vol. 512, pp 61–64, doi.org/10.1038/nature13607

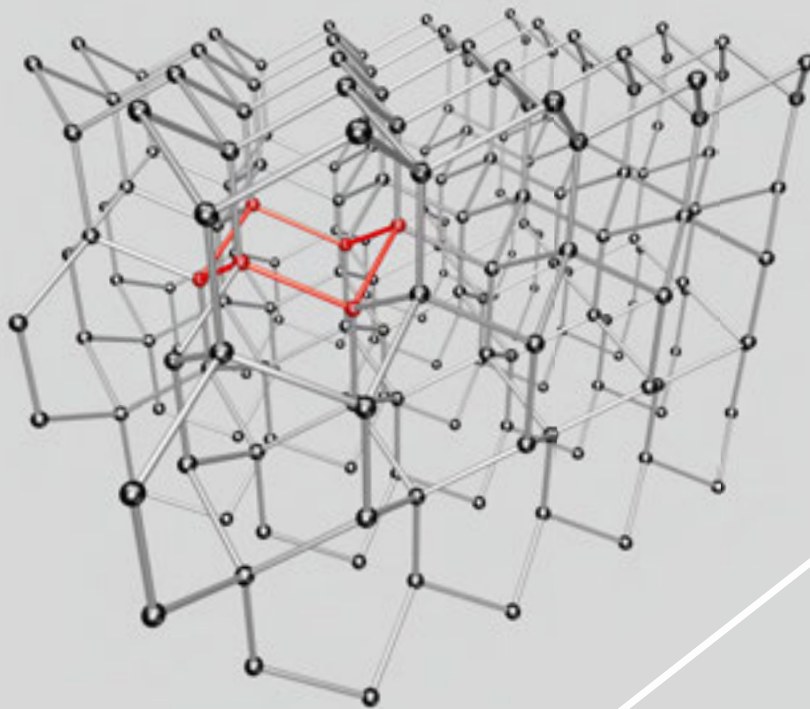
## Graphen

Handelt es sich um eine einzige isolierte Graphitschicht, dann spricht man von Graphen, das nur eine Atomlage dick (beziehungsweise dünn) ist. Der Kohlenstoff befindet sich auch hier in der  $sp^2$ -Konfiguration. Erstmals hergestellt wurde Graphen mit der Top-down-Methode, indem einzelne Schichten aus Graphit abgelöst wurden. Mit der auch an der Empa entwickelten Bottom-up-Methode lassen sich nur wenige Nanometer breite Graphenbänder mit präzise strukturierten Rändern synthetisieren, die Graphen klar definierte elektronische Eigenschaften verleihen.



## Lonsdaleit

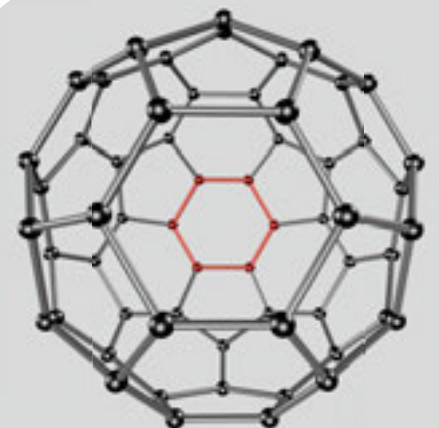
Eine sehr selten vorkommende Mineralform des Kohlenstoffs ist der 1967 erstmals entdeckte Lonsdaleit. Er entsteht, wenn Graphit durch Schockereignisse, also bei hohem Druck und hoher Temperatur, in eine diamantähnliche Struktur umgewandelt wird, dabei aber das hexagonale Kristallgitter des Graphits erhalten bleibt; man spricht auch von hexagonalem Diamant. Solche Bedingungen kommen etwa bei Meteoriteneinschlägen vor.



## Der Kohlenstoff

Ordnungszahl	6	12,011
Dichte in g/cm <sup>3</sup>	2,26	2,50
		[He]2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup>
		3750 G / 4830
Symbol	C	4, 2, -4
Name	Kohlenstoff	

### Sechs Gesichter eines die allotropen Form

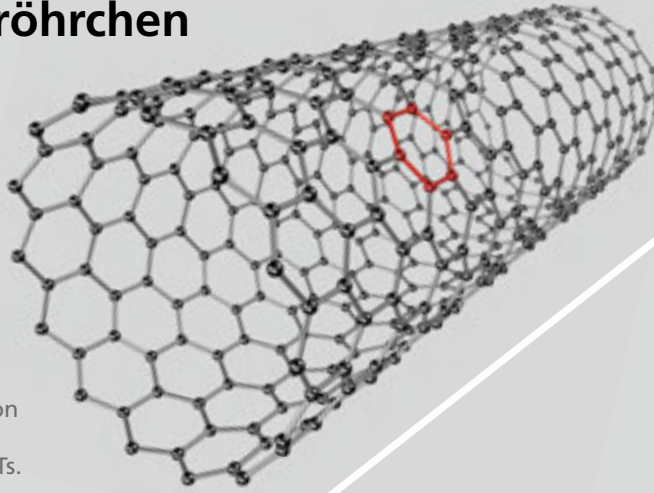


## Fullerene / Buckyballs

Das «prototypische» Fulleren  $C_{60}$  ähnelt einem Fussball. Die Hohlmoleküle aus Kohlenstoff wurden 1985 erstmals hergestellt, als Forscher eine Graphitscheibe mit Laserlicht bestrahlten.  $C_{60}$  ist die stabilste Form des Kohlenstoffs überhaupt; man findet es sogar im interstellaren Raum. Es besteht aus 12 Fünfecken (wie alle Fullerene) und 20 Sechsecken. Es wurde zu Ehren des Architekten Richard Buckminster Fuller «Buckminster-Fulleren» (kurz «buckyball») genannt, da es den von ihm konstruierten geodätischen Kuppeln ähnelt.

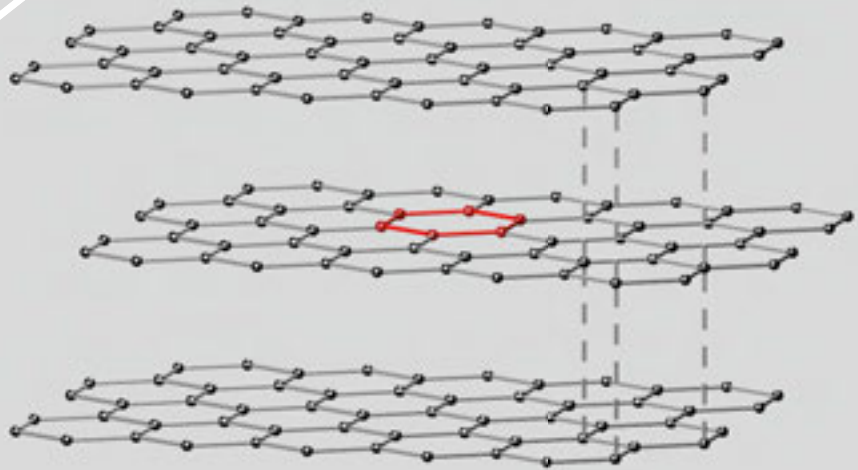
## Kohlenstoffnanoröhrchen

Kohlenstoffnanoröhrchen (CNTs) haben ähnliche Eigenschaften wie Graphen ( $sp^2$ -Konfiguration des Kohlenstoffs); man kann sie sich vorstellen als Graphenschicht, die zu einem Zylinder aufgerollt ist. Sie entstehen etwa bei Verbrennungsprozessen von Kohlenwasserstoffen in Anwesenheit eines Katalysators – oder, wie die Empa vor kurzem erstmals zeigen konnte, gezielt aus Vorläufermolekülen. Es gibt unzählige Formen von CNTs: Man unterscheidet grob einwandige und mehrwandige CNTs. Zusätzlich kann ihre hexagonale Gitterstruktur entlang der Längsachse verdrillt sein, man spricht dabei von Chiralität. Je nach Chiralität sind die CNTs halbleitend oder metallisch.

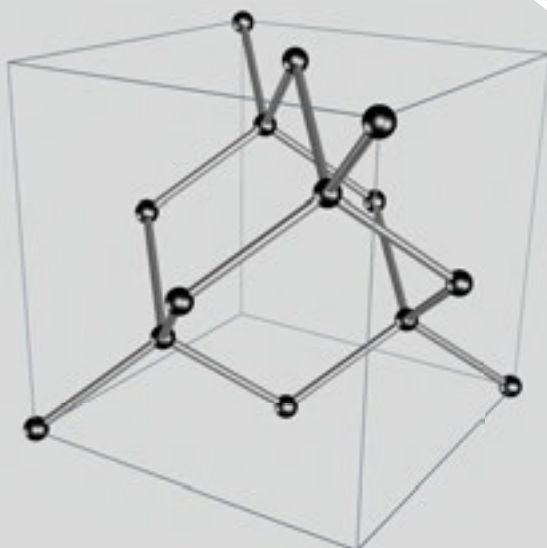


## stoff-Kosmos

- ..... Relative Atommasse in u
- ..... Elektronegativität
- ..... Elektronenkonfiguration
- ..... Schmelz- / Siedetemperatur in °C
- ..... Häufigste Oxidationszahlen



## chemischen Elements: en des Kohlenstoffs



## Graphit

Das natürlich vorkommende Graphit besteht aus unzähligen aufeinander geschichteten Lagen von Kohlenstoffatomen, die in Form einer hexagonalen Bienenwabenstruktur angeordnet sind; man spricht von einer  $sp^2$ -Konfiguration des Kohlenstoffs. Die Bindung zwischen den Schichten ist sehr schwach, das Material ist extrem weich. Deshalb hinterlässt eine Graphitmine im Bleistift durch Abreibung der einzelnen Blättchen eine graue Spur auf dem Papier: Die Schichten werden abgehobelt.

## Diamant

Im Unterschied zu vielen anderen Kohlenstoff-Varianten sind die Kohlenstoffatome im Diamant tetragonal (also in vier Raumrichtungen) miteinander verbunden und besitzen keine freien Elektronen; man spricht von einer  $sp^3$ -Konfiguration. Diamant ist daher in vielerlei Hinsicht das «Gegenteil» von Graphit: Er ist ein elektrischer Isolator, ein hervorragender Wärmeleiter und der härteste natürlich vorkommende Stoff.



# Flammschutz für den Jet-Set

Eine neu entwickelte Beschichtung schützt das Innere von Businessjets vor Feuer. Das Mittel ist nicht nur umweltfreundlicher als bisher verfügbare Flammhemmer, sondern auch schneller appliziert. So hilft die Empa der Schweizer Firma Jet Aviation, ihren Wettbewerbern davonzufliegen.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Jet Aviation AG, Bombardier

**B**usinessjets müssen innen schön sein, das wünscht die zahlungskräftige Kundschaft. Das Mobiliar muss unbrennbar sein, das wünscht die Flugsicherheitsbehörde. Und der Jet darf bei einer Renovation nie zu lange im Hangar stehen, denn das kostet (unnötig) Geld. Mit diesen Rahmenbedingungen im Gepäck gelangte der Flugzeugausrüster Jet Aviation an die Empa und fragte um Projektunterstützung nach: Seit 1977 geben Kunden aus aller Welt ihre Privatflugzeuge bei Jet Aviation ab und lassen das Mobiliar im Inneren der Flugzeugzelle renovieren oder neu zusammenstellen. Um die einzelnen Schichten der Leichtbaumöbel flammhemmend auszurüsten, waren bislang mehrere Arbeitsschritte nötig. So lange blieb der Businessjet am Boden. Die Frage war nun: Geht das nicht schneller?

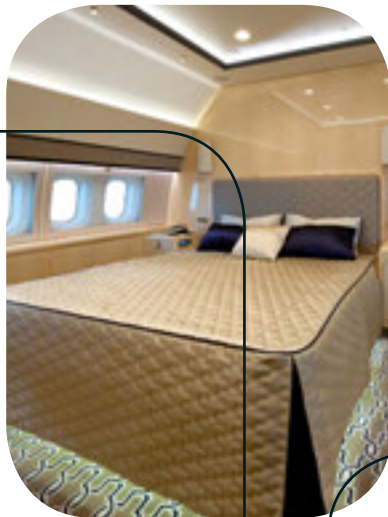
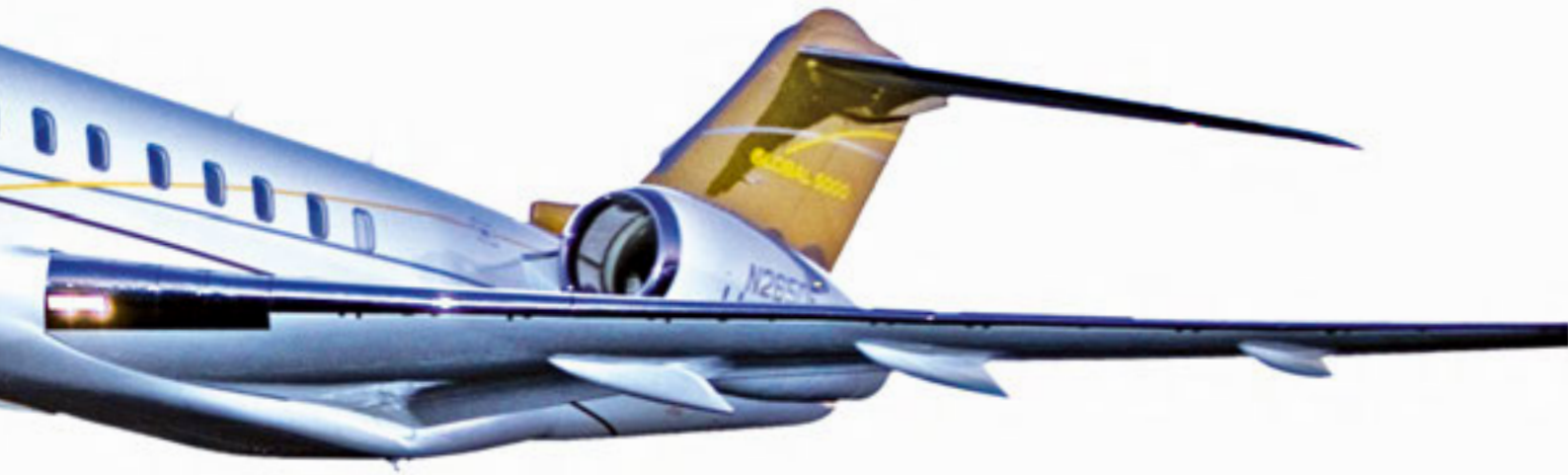
Ein Fall für Sabyasachi Gaan, der in St. Gallen unter anderem neue Flammschutzmittel für Textilien entwickelt. Nach zahlreichen Laborversuchen fanden Gaan und sein Team schliesslich eine Beschichtung, die den Spezialisten von Jet Aviation gefiel: Der neue Flammschutz ist umweltfreundlicher als der vorher genutzte – er kommt ohne chlorierte und bromierte Chemikalien aus und erreicht den Flammschutzeffekt allein durch ein besonders hohes Molekulargewicht. Daraus folgt ein weiterer Vorteil: Das Flammschutzmittel düstet nicht in die Luft aus; Geruchsbelästigungen im neu möblierten Jet gibt es also nicht.

## Eine Beschichtung genügt

Auch die erwünschte Zeitersparnis im Handling der teuren Maschinen konnte das Empa-Team sicherstellen: Das neu entwickelte Flammschutzmittel braucht nur einmal aufgetragen zu werden – anstatt in mehreren Schichten übereinander. So entfallen Arbeitsstunden und Trocknungszeiten, der aufgebüschte (und flammsichere) Jet rollt mehrere Tage früher zur Startbahn. Das 2012 angelaufene Projekt wurde von der Kommission für Technologie und Innovation KTI im Rahmen der Sondermassnahmen gegen den starken Franken mitfinanziert; das Verfahren ist zum Patent angemeldet.

Projektleiter Sabyasachi Gaan denkt bereits einen Schritt weiter: Wenn die Flammschutzausrüstung beim Restaurieren von Jets Zeit spart, dann könnte sie auch in der Herstellung von Businessflugzeugen gewinnbringend eingesetzt werden. Gespräche mit Herstellern sind bereits geplant. Das neu entwickelte, umweltfreundliche Flammschutzmittel könnte auch anderswo Karriere machen, meint Gaan: «Wir können uns vorstellen, dass man den Stoff auch für die flammhemmende Ausrüstung von Textilien, für Holzmöbel oder für Wand- und Deckenverkleidungen in Gebäuden einsetzen kann. Das werden wir uns als Nächstes anschauen.» //





Die Inneneinrichtung von Businessjets muss nicht nur repräsentativ, sondern auch feuerfest sein. Mit Empa-Technologie erreicht man die Zulassung schneller und umweltfreundlicher als je zuvor. Die Methode eignet sich auch für Haushaltsmöbel. Verschiedene europäische Länder verlangen auch dort Flammenschutz.

«Die Energiezukunft  
gibts nicht einfach so»



**Urs Elber, Geschäftsführer des Forschungsschwerpunkts «Energie», erklärt, wie sich die Energieversorgung in den nächsten Jahren ändern wird und wie die Empa diesen Wandel begleitet.**

INTERVIEW: Rainer Klose / BILDER: Empa

### Zur Person

Seit September 2014 fungiert Urs Elber als Geschäftsführer des Forschungsschwerpunkts «Energie» an der Empa. Seine Aufgabe ist es, neue Forschungsaktivitäten im Energiebereich in Gang zu bringen. Zugleich ist er für Industrie- und Forschungspartner der Empa Ansprechperson in Sachen Energiemanagement, -forschung und -planung. In mehr als 20 Berufsjahren hat sich Elber profundes Wissen über die Schweizer Energiebranche angeeignet: Er leitete verschiedene Wasser-, Wind-, Solar- und Biomassekraftwerke, war CEO der Holzenergie-Gruppe beim Stromversorger Axpo und managt als Geschäftsführer zugleich das Kompetenzzentrum des ETH-Bereichs für Energie und Mobilität (CCEM) am PSI. Nun will er die Kompetenzen der Empa im Bereich Energieforschung bündeln und sich mit den Schwesterinstituten des ETH-Bereichs noch enger vernetzen. Urs Elber ist kein Theoretiker: Auf dem Dach seines Hauses in Wangen bei Olten arbeitet seit mehr als 20 Jahren eine Fotovoltaikanlage der ersten Generation.

### **Herr Elber, warum braucht die Energieforschung der Empa einen Geschäftsführer?**

Für die neu geschaffene Stelle gibt es verschiedene Gründe: Rund 40% aller Empa-Forschungsprojekte betreffen den Energiebereich, die meisten davon mit externen Partnern aus Forschung und Industrie, zum Beispiel die neuen Forschungsplattformen «NEST» und «Future Mobility», bei denen Systemaspekte eine bedeutende Rolle spielen. Energieforschung wird also zunehmend komplexer. Es ist notwendig, dass wir je länger, je mehr in grösseren Zusammenhängen denken, forschen und handeln – also vom Ernten und Transport der Energie über das Speichern und Umwandeln bis hin zur Steuerung des Verbrauchs. Eine derartige Gesamtbetrachtung zu unterstützen ist Teil meines Jobs hier an der Empa. So können wir in Zusammenarbeit mit sämtlichen am Prozess Beteiligten – nicht nur aus der Forschung – Lösungsansätze für unsere Energiezukunft generieren.

### **Hört sich nach einer sehr integrativen, vernetzten Tätigkeit an.**

Stimmt genau. Und dazu kommt dann noch der gesellschaftliche Aspekt. In der Energiestrategie 2050 des Bundes sind konkrete Ziele definiert. Unsere Aufgabe ist es nun, Optionen zu erarbeiten, die uns dabei helfen, diese Ziele zu erreichen. Deshalb wurden ja auch zusätzliche Bundesmittel für den Aktionsplan koordinierte Ener-

gieforschung bereitgestellt. Dabei liegen die Optionen nicht nur in der Materialforschung: Neue Batterien oder bessere Solarzellen sind wichtig, werden die Energiefrage alleine aber nicht lösen können. Die Antwort liegt vielmehr in systemischen und konkreten Anwendungsmöglichkeiten, die sich daraus ergeben. Welche dieser Optionen sich am Ende durchsetzen werden, hängt von ökonomischen und gesellschaftlichen Entscheidungen ab. Wir als Bürger müssen am Ende nicht nur darüber entscheiden, welche Art Energie wir wollen, sondern vor allem, welchen Paradigmenwechsel wir dafür in Kauf zu nehmen bereit sind. Denn jede Option wird auch Nachteile haben.

### **Können Sie das näher ausführen? Wenn ich mir beispielsweise eine Solaranlage aufs Dach setze und damit Ökostrom ernte – wo ist da der Nachteil?**

Zunächst haben Solarpanels noch ein enormes Verbesserungspotenzial: effizientere, billigere und besser integrierbare Module, weniger CO<sub>2</sub>-belastete Herstellungsmethoden etc. Und dann kann es vor allem im Sommer, wenn viel Solarleistung ins Netz einspeist wird, dazu kommen, dass mehr Solarstrom erzeugt wird als zu diesem Zeitpunkt benötigt. Das bedeutet, dass das Energiesystem viel flexibler werden muss. Beispielsweise müssen wir Speicher, auch saisonale, entwickeln, um diese Überschüsse abzufangen. Dazu müssen wir neue Wege suchen.

**Zum Beispiel?**

Eigentlich kann man ja nie «zu viel» Solarenergie haben; man muss lediglich die Menge, die nicht vom Stromnetz aufgenommen oder direkt gespeichert werden kann, in andere Bereiche überführen – etwa in die Mobilität. Man kann Elektroautos aufladen, solaren Wasserstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge herstellen oder aus diesem und dem Treibhausgas CO<sub>2</sub> synthetisches Erdgas erzeugen. Wir brauchen an heissen Sommertagen keine Solarenergie zum Heizen – aber wir können immerhin damit fahren und so mehr und mehr importierte fossile Energie ersetzen. Eine zweite Möglichkeit sind effiziente Langzeitspeicher. Und schliesslich können wir den Verbrauch so steuern, dass er mit der Erzeugung besser übereinstimmt. Wenn also immer mehr Solarzellen auf Hausdächern montiert werden, wirft dies Folgefragen auf. Aber die sind lösbar.

**Heisst das, wir haben an der Energieerzeugung schon relativ viel erforscht – aber uns um die Verteilung der Energie noch zu wenig gekümmert?**

Bis jetzt war das System verbrauchsgesteuert. Man hat so viel Strom erzeugt, wie gerade Leistung gebraucht wurde. Jetzt kommen wir mit diesem Ansatz nicht mehr weiter. Wir müssen ein Gleichgewicht herstellen zwischen den herkömmlichen und den neuen Energien wie Solar- und Windenergie – die manchmal verfügbar sind, manchmal nicht – einerseits und dem Verbrauch andererseits. Das kann man durch die Umwandlung in andere Energieformen erreichen, zentral oder dezentral, oder durch neue Vertriebsmodelle, die darauf abzielen, dass man vor allem dann Energie verbraucht, wenn sie verfügbar ist. Und je weniger Energie wir verbrauchen, etwa durch Effizienzmassnahmen, desto kleiner wird die Herausforderung.

**Strom- und Gasnetze sind vor rund 150 Jahren entstanden. Wie müssen diese Netze umgebaut werden, um den neuen Anforderungen zu genügen?**

Das Stromnetz hat ein prinzipielles Problem: Es ist nicht sehr flexibel; Strom, der irgendwo eingespeist wird, muss im gleichen Moment auch irgendwo abgenommen werden. Und ausgerechnet so ein Netz muss nun mit immer mehr nicht-konstanten Stromerzeugern zurechtkommen. Neue Technologien helfen, die Übertragungsnetze zu erweitern und besser zu nutzen, zum Beispiel über Hochspannungs-Gleichstromübertragung und mittels «Smart Grid». Demgegenüber ist das Gasnetz sehr flexibel

– es kann auf gleichem Raum weit grössere Mengen Energie transportieren und erst noch viel Energie speichern. Doch bis jetzt nutzen wir diese Fähigkeiten kaum. Die Frage liegt also nahe: Kann ich die Probleme des einen Netzes mit Hilfe des anderen lösen? Wir müssen herausfinden, ob und wie wir die beiden Welten miteinander verbinden können.

**Wie kann die Forschung auf diese Herausforderung reagieren? Welche Forschungsaktivitäten sollte man verstärken? Und gibt es auch Bereiche, deren Förderung man reduzieren könnte?**

In der Grundlagenforschung sollte man sicher nicht weniger tun. In diesem Bereich werden die Ideen kreiert, die wir später aufgreifen und weiterentwickeln können. Systemische Entwicklungen müssen aber noch intensiviert werden. Wir müssen Lösungen, die im Labor – gewissermassen auf der Intensivstation – gut funktionieren, tauglich machen für den Alltag. Das geht nicht in einem einzigen Schritt; dazu sind Demonstratoren notwendig, in denen sich die Labortechnik in grösserem Massstab erproben lässt und Erfahrungen gesammelt werden können. Erst nach diesem Schritt können wir Projekte zusammen mit der Industrie in die Praxis umsetzen. Direkt vom Labor «auf die Strasse», das geht in der Energiebranche selten.

**Wie weiss man, was Sinn macht und was nicht?**

Wir müssen genau wissen, welche Vorteile einer Technologie wir uns mit welchen Nachteilen erkaufen. Lebenszyklusanalysen zeigen dies auf. Oft ist das, was auf den ersten Blick gut und einleuchtend klingt, unterm Strich mit negativen Effekten verbunden. Dafür müssen wir Computermodelle entwickeln, die uns helfen, die Folgen abzuschätzen. Modelle sind keine Prognosen, helfen aber, uns eine gewisse Vorstellung zu geben. Ebenso wichtig wie der ökologische Nutzen ist die ökonomische Realität. Wir müssen uns immer auch fragen, ob und unter welchen Rahmenbedingungen eine Technologie oder ein System am Markt überhaupt eine Chance haben könnte.



### **Welche Rolle spielt die Empa dabei?**

Zurzeit laufen an der Empa gleich mehrere Grossprojekte: «Future Mobility», eine Demonstrationsplattform für nachhaltige Mobilität, das Versuchsgebäude NEST, der «Energy Hub» und die Neukonzeption der Areal-Energieversorgung. Diese Aktivitäten sind ideal, um verschiedene Forschungsgebiete transdisziplinär und konzeptionell miteinander zu verbinden. Die vernetzte Forschung ist dabei enorm wichtig, sowohl innerhalb der Empa als auch mit externen Partnern im ETH-Bereich sowie im Rahmen der neuen «Swiss Competence Centers for Energy Research» (SCCER). Meine Aufgabe ist die Unterstützung und weitere Vernetzung dieser Aktivitäten.

### **Sie haben die Rolle der institutsübergreifenden Forschungsprojekte erwähnt; wie wichtig ist diese Zusammenarbeit?**

Die ist zentral. Unter anderem mit dem «Competence Center for Energy and Mobility» (CEM) hat der ETH-Bereich bereits 2006 erkannt, dass nicht alle alles in der gleichen Tiefe tun können und dass unsere komplexer werdende Welt immer mehr systemische Betrachtungen erfordert. Deshalb ist die Komplementarität der Forschung im ETH-Bereich enorm wichtig. Mit Vernetzung wird weniger Parallelforschung betrieben – und so Geld und Zeit gespart; die Akteure können sich auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren. Mit dem Paul-Scherrer-Institut (PSI) und den anderen ETH-Institutionen besteht im Energiebereich bereits eine sehr enge Zusammenarbeit. Ich sehe es als meine Aufgabe an, diese Zusammenarbeit weiter voranzutreiben.

### **Zum Schluss ein Blick in die Zukunft: Was wird in den nächsten 35 Jahren beim Thema Energieversorgung passieren?**

Nach meiner Einschätzung werden wir einen ähnlich drastischen Wandel erleben wie in der Telekommunikation in den vergangenen 20 Jahren, mit Paradigmenwechseln auf der Lieferanten- wie auf der Kundenseite. Damals gab es einen staatlichen Monopolisten, der alle Infrastrukturen und Services besass und die Technik bis zum Kunden betreute. Und heute? Bei der Übertragung dieses Modells auf die Energiewirtschaft muss man jedoch vorsichtig sein. Der Wandel wird langsamer und anders vonstattengehen, weil die Energieinfrastruktur sehr langfristig angelegt ist und der Effekt auf die Landschaft sich nicht verstecken lässt. Wir können auch nicht genau voraussagen, wann was passieren wird. Der technische Fortschritt wird uns in den nächsten 35 Jahren etliche Technologien bescheren, deren Bedeutung wir heute noch nicht einmal erahnen. 1992 konnte sich auch kaum jemand ein Smartphone vorstellen. Da stehen uns spannende Zeiten bevor – und es wird für alle Beteiligten viel zu tun geben. //

Urs Elber an einem Kleinwasserkraftwerk der Axpo in Kollbrunn / Tösstal, welches früher unter seiner Leitung stand.



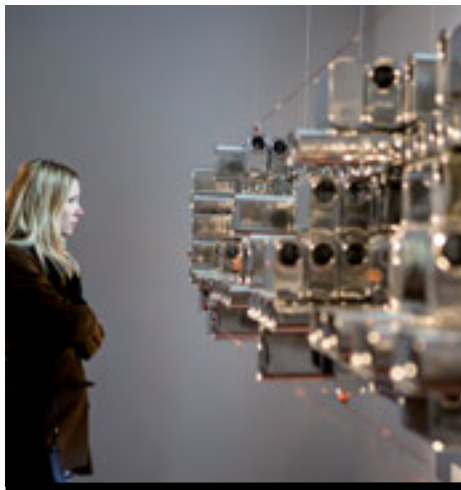


Aernoudt Jacobs (l.) und Silvain Michel testeten gemeinsam die Soundmembran – das Herzstück der neuen Kunstinstallation.



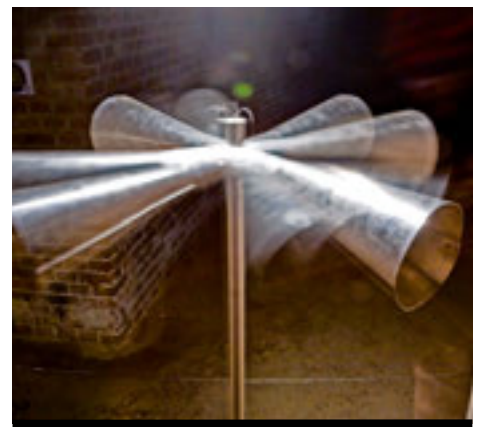
# Sound-Kunstwerk mit

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa, [www.overtone.org](http://www.overtone.org)



Video  
Induction Series #4

<http://youtu.be/IR0Pg1HvyZU>



Video  
Phantom Melodies

<http://vimeo.com/91603030>



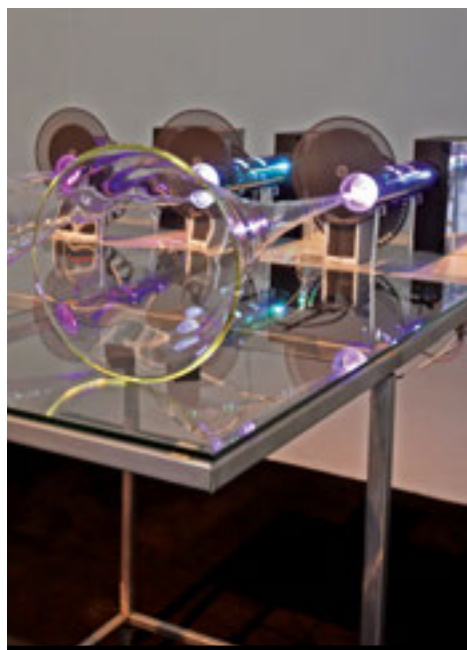
Die belgische Klang-Künstler Aernoudt Jacobs tüfelt an seinem nächsten Kunstwerk – und diesmal verlässt er sich auf Empa-Technologie. Zusammen mit Silvain Michel, einem Spezialisten für elektroaktive Polymere – auch als «künstliche Muskeln» bekannt –, testete Jacobs Anfang Oktober eine verspiegelte Soundmembran in den Labors der Empa. Noch hat das werdende Kunstwerk keinen Namen. Fest steht aber bereits, dass es ab dem 27. Januar 2015 in der Ausstellung «Kontinuum» in der Wiener Galerie IM ERSTEN zu sehen sein wird ([www.imersten.com](http://www.imersten.com)). Die Ausstellung zeigt Ergebnisse des Kunstforschungsprojekts LIQUID THINGS der Universität für angewandte Kunst Wien.

Aernoudt Jacobs beschäftigt sich seit mehr als zehn Jahren mit Sound-Installationen, die er in ganz Europa ausstellt – und in denen er häufig physikalische Phänomene mit einer künstlerischen Darstellung verbindet. (Die QR-Codes auf dieser Seite geben einen Eindruck in seine Werke.) In der Installation «Permafrost» verstärkt er etwa die prickelnden Geräusche von gefrierendem Wasser und schmelzendem Eis. Das Kunstwerk «Photophon #1» basiert auf dem von Alexander Graham Bell entdeckten fotoakustischen Effekt: Jacobs zerhackt weisses Laserlicht und lässt seine fragile Installation damit verschiedene Töne «singen». In der Installationsreihe «Induction Series #1 – #4» nutzt er elektromagnetische Induktion, um verschiedenen Objekten Töne zu entringen, die an Vogelgezwitscher erinnern.

Das Spielen mit den elektroaktiven Polymeren der Empa wird für ihn nicht einfach: «Vermutlich wird mein Kunstwerk bei der Ausstellung in Wien noch ein Prototyp sein», meint Jacobs. Auch wie es klingen wird, sei ihm noch nicht ganz klar. «Im Moment benutze ich Töne, die ich mit meinem Aufnahmegerät einsammle – zum Beispiel bei einem Waldspaziergang an einem stürmischen Tag.» Am Ende könnte so etwas wie das Knarzen von Holz herauskommen, es könnten aber auch religiös anmutende Gesänge sein. Auf jeden Fall werden die Töne einer Choreografie folgen, die Bewegung und Ton miteinander verbinden. «Der Besucher wird genau erkennen, was er hört, aber die Tonalität wird sich immer wieder ändern. Diese Kombination ergibt eine Art unkonventionellen und doch sehr greifbaren Echo-Effekt», sagt der Künstler. //

Einen Einblick in Aernoudt Jacobs Installationen erhält man auf [www.overtone.org](http://www.overtone.org) und [www.tmr.x.org](http://www.tmr.x.org)

# Empa-Herz



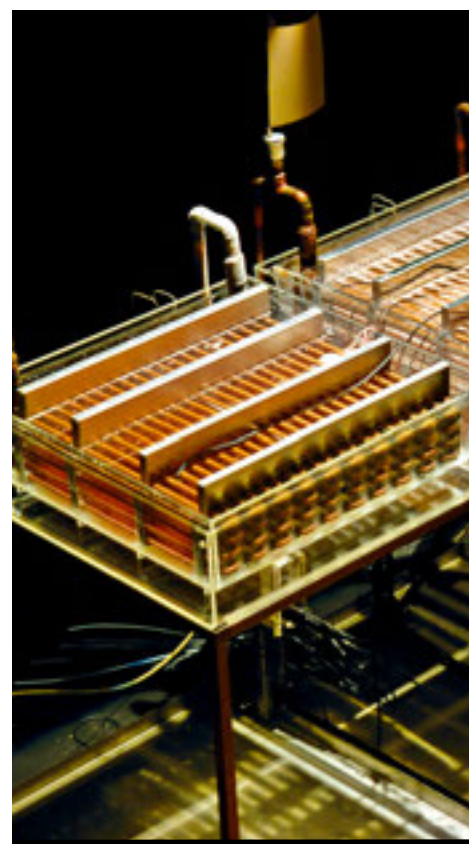
Video  
Photophon  
(nicht für iPhone)

<http://vimeo.com/104899973>



Video  
Heliofoon  
(nicht für iPhone)

<http://vimeo.com/112046544>



Video  
Permafrost

<http://vimeo.com/91602237>

# Koffein-Kick für Frühchen

Empa-Forscher haben eine Membran entwickelt, die – durch UV-Licht aktiviert – Wirkstoffe schonend über die Haut an die Patienten abgibt. Freuen können sich darüber in Zukunft alle, die Angst vor Spritzen haben. Aber auch Frühgeborene, denen dies zusätzlichen Stress ersparen würde.

TEXT: Remigius Nideröst / BILD: iStockphoto

In der Medizin werden zunehmend minimal-invasive oder sogar nicht-invasive Technologien eingesetzt. So ist es etwa möglich, Operationen sozusagen durchs «Schlüsselloch» durchzuführen, also ohne grossen Schnitt mit dem Skalpell. Nur eine kleine Operationsnarbe bleibt zurück. Ähnliche Möglichkeiten gibt es nun auch bei der Medikamentenabgabe: Statt mit Spritzen oder über Sonden können Wirkstoffe künftig in ein Pflaster integriert werden, das seinen Inhalt dann kontinuierlich über die Haut in den Körper des Patienten abgibt.

## Medikamenten-Pflaster gegen die Angst vor der Spritze

Seit einigen Jahren erhalten Babys, die zu früh geboren wurden, so genannte Frühchen, Koffein, um einen Atemstillstand zu verhindern. Das Koffein wird ihnen dabei im Brutkasten über eine Sonde zugeführt oder muss gespritzt werden. Beides bedeutet für die noch sehr empfindlichen Kinder zusätzlichen Stress; ausserdem lässt sich der Wirkstoff nicht optimal dosieren. Zum Abgabezeitpunkt entsteht eine Konzentrationsspitze, danach lässt die Wirkstoffkonzentration oft schnell wieder nach. Wünschenswert wäre eine gleichmässige Dosierung über mehrere Stunden.

Die Empa hat nun mit dem Universitätsspital Zürich in einem vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF) finanzierten Projekt ein Pflaster entwickelt, das Wirkstoffe über eine Membran abgibt. Dieses wird einfach auf die Haut der Kindes ge-

klebt und gibt dann beispielsweise Koffein während einiger Stunden kontinuierlich an den kleinen Patienten ab, ohne dass er durch einen Einstich gestört werden muss.

## Im Labor entwickelt – am Unispital getestet

Die an der Empa entwickelte Membran ändert ihre Eigenschaften, nachdem sie mit UV-Licht bestrahlt worden ist. Bekannt ist ein solcher Effekt etwa bei selbsttönenden Brillengläsern, bei denen Silber auf die UV-Bestrahlung reagiert und die Gläser verdunkelt. Bei der Membran sind es allerdings andere lichtempfindliche funktionale Gruppen, so genannte Spiropyrane, die die Membran durchlässiger machen, sodass Wirkstoffe schneller fliessen. Diese Funktion bleibt dann über mehrere Stunden erhalten. Ohne Bestrahlung hält die Membran die Wirkstoffe im Depot zurück, wie die Forscher in einer kürzlich veröffentlichten Studie im Fachblatt «Advanced Functional Materials» berichten.

Wesentlich bei der Entwicklung war, sowohl die abgegebene Wirkstoffmenge wie auch die Dauer der Abgabe genau steuern zu können. An der Entwicklung beteiligte Mediziner des Universitätsspitals Zürich sehen für das neue Pflaster gute Marktchancen, da die Abgaberate genau kontrolliert und an die Anforderungen angepasst werden kann. Bis Patientinnen und Patienten von der Neuentwicklung profitieren können, dürfte es indes noch eine Weile dauern. Zunächst sucht die Empa Partner für die industrielle Herstellung der Pflaster. //



# NEST wächst in die Höhe

Mit einem feierlichen ersten Spatenstich startete am 26. August der Bau des modularen Forschungs- und Innovationsgebäudes NEST. Inzwischen ist der Rohbau des Erdgeschosses in Arbeit. Im Sommer 2015 soll das Grundgerüst des Gebäudes, der Backbone, fertiggestellt sein. Dann werden die ersten Forschungsmodule installiert.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa



#### Bild links

Spatenstich zum NEST am 26. August 2014 (v. l.): Walter Steinmann, Direktor Bundesamt für Energie; Gian-Luca Bona, Direktor Empa; Janet Hering, Direktorin Eawag, Lothar Ziörjen, Stadtpräsident Dübendorf; Markus Kägi, Regierungsrat des Kantons Zürich; Fabio Gramazio, Architekt NEST.

#### Bild unten:

Stand der Bauarbeiten am 2. Dezember.



Die grosse Baugrube auf dem Empa-Campus hat sich bereits wieder geschlossen: Die Kellerdecke wurde Ende November betoniert, Anfang Dezember mit der Errichtung des Erdgeschosses begonnen. Bund, Kanton und Gemeinde unterstützen das Projekt finanziell. Das in Europa einmalige Forschungshaus, entworfen vom Zürcher Büro Gramazio & Kohler, wird in den nächsten Jahren zukünftige Wohn- und Arbeitsformen, neue Konstruktionsmethoden und neue, energieeffiziente Technologien erproben. NEST wird als Gästehaus ständig bewohnt, die Büroeinheiten im Alltag benutzt.

#### Wohnen und arbeiten in der Zukunft

Das viergeschossige Experimentalgebäude NEST besteht aus einem Kern, dem so genannten Backbone mit drei offenen Plattformen, auf denen mehrere unabhängige Forschungs- und Innovationsmodule installiert werden können. In diesen so genannten «Units» sollen zukünftige Wohnungen, Büro- und Konferenzräume unter alltagsnahen Bedingungen erforscht, erprobt und weiterentwickelt werden. Anders als bei herkömmlichen Häusern sind Fehler und Irrwege im NEST erlaubt und sogar erwünscht. Nie zuvor war es möglich, neue Technologien und Systeme in einer realen Nutzumgebung zu demonstrieren und zu testen. Dank der austauschbaren Units können im NEST grössere Risiken als in einem normalem Bau eingegangen werden, was den Erkenntnisgewinn deutlich beschleunigt.

Der Bau des Backbone soll im Herbst 2015 abgeschlossen sein. Ende 2015 sollen die ersten Forschungsmodule installiert werden. Als akademische strategische Partnerinstitutionen sind heute neben der Empa und der Eawag die ETH Zürich, die EPF Lausanne und die Hochschule Luzern beteiligt. //

# Empa-Forscher unter den «100 Leading Global Thinkers»

Die Empa-Forscher Artur Braun, Florent Boudoire, Rita Toth und Jakob Heier wurden zusammen mit Edwin Constable von der Universität Basel von der US-Zeitschrift «Foreign Policy» in die Liste der «100 Leading Global Thinkers 2014» in der Sparte Innovation aufgenommen. Anlass dazu gab ihr Forschungsprojekt der Mottenaugen-Solarzellen, um Sonnenlicht direkt in Wasserstoff umwandeln zu können. Am 17. November 2014 fand die Ehrung in Washington D.C. im Beisein des US-Aussenministers John Kerry statt.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: [www.Foreignpolicy.com](http://www.Foreignpolicy.com)

**F**oreign Policy» erstellt jedes Jahr eine Liste der 100 weltweit führenden Köpfe. In diese Liste werden Personen aufgenommen, die in besagtem Jahr grossen Einfluss auf unsere Welt und die Gesellschaft ausgeübt haben – sowohl in positiver als auch negativer Hinsicht. Auf der Liste der «100 Leading Global Thinkers» befinden sich 2014 neben den Empa-Forschern auch die deutsche Bundeskanzlerin Angela Merkel, Russlands Präsident Wladimir Putin, eine indische Forschergruppe, die eine Raumsonde auf den Mars geschickt hat – aber auch der Führer der IS-Terrormiliz. Die 100 Personen sind, entsprechend ihrem Beitrag zur Weltgeschichte, in zehn Kategorien eingeteilt: «Decision Makers», «Naturals», «Challengers», «Advocates», «Artists», «Innovators», «Healers», «Chroniclers», «Moguls» und «Agitators». Die Empa-Forscher gehören der Kategorie «Innovators» an. Am 17. November 2014 fand die Ehrengala in Washington D.C. statt; den 400 Gästen erläuterte US-Aussenminister John Kerry in einer exklusiven 50-minütigen Rede die Lage der Welt. Die vollständige Liste der «100 Leading Global Thinkers 2014» findet sich auf <http://globalthinkers.foreignpolicy.com>.

## Preisgekrönt: Mottenaugen-Solarzellen verwandeln Sonnenlicht in Wasserstoff

Im Juni 2014 ist es dem Forscher-Team um Artur Braun gelungen, eine Solarzelle herzustellen, die die Photosynthese der Pflanzen nachahmt und aus Sonnenlicht und Wasser synthetische Brennstoffe wie Wasserstoff bildet. Diese fotoelektrochemische Zelle funktioniert im Grunde wie das Auge einer Motte. Die spezielle Mikrostruktur der Fotoelektrode fängt das Licht buchstäblich ein und lässt es nicht mehr heraus. Die Forscher konnten so die Lichtausbeute der Solarzelle drastisch erhöhen.



## Buchtip: ICT und Nachhaltigkeit

Heutige Laptops und Tablets sind während einer Stunde Benutzung zwar umweltfreundlicher als noch ein Desktop-Computer von vor zehn Jahren, trotzdem sinkt die Umweltbelastung durch solche Geräte nicht. Eine Studie zeigt: Verwendete man vor zehn Jahren noch einen Computer pro Haushalt ein paar Stunden in der Woche, so sind es heute mehrere Laptops und Tablets, die parallel in einem Haushalt für über zehn Stunden in der Woche gebraucht werden.

«The Transition from Desktop Computers to Tablets: A Model for Increasing Resource Efficiency?» ist nur eines von insgesamt 27 Kapiteln im neuen Buch *ICT Innovations for Sustainability* von den Herausgebern Lorenz M. Hilty und Bernhard Aebischer. Das Buch ist unter Beteiligung von mehreren Empa-Forschenden entstanden. Das Buch garantiert seinem Leser, seiner Leserin einen spannenden und lehrreichen Einblick in das Forschungsfeld der Nachhaltigkeit in der Informations- und Kommunikationstechnik.

*ICT Innovations for Sustainability.*  
 Edited by Lorenz M. Hilty and Bernhard Aebischer.  
 Springer, Berlin 2014.  
 Bildquelle: Springer Verlag ([www.springer.com](http://www.springer.com))



## Leitfaden zum Umgang mit Nanopartikeln

Der Leitfaden «LICARA» soll kleinen und mittelgrossen Unternehmen (KMU) in allen Branchen eine Hilfestellung bieten bei Fragen im Umgang mit Nanotechnologie und Nanopartikeln. Die Empa ist Mitherausgeberin.

Der industrielle Einsatz von Nanopartikeln und Nanostrukturen weckt grosse Hoffnungen auf bessere Produkteigenschaften – und zugleich grosse Ängste aufgrund möglicher Gesundheitsgefahren. Doch die Gesetzgebung in Europa ist komplex, und Nanopartikel sind in vielerlei Varianten auf dem Markt. Die Empa hat in Zusammenarbeit mit Industriepartnern und zwei anderen Forschungsanstalten den Leitfaden «LICARA» (Life Cycle Assessment and Risk Assessment of Nanoproducts) herausgegeben. Der 44-seitige Leitfaden in englischer Sprache beschreibt, was genau Nanomaterialien sind, erläutert gesetzliche Grundlagen, analysiert den Nutzen von Nanotechnik, beschreibt Risiken für Mensch und Umwelt und betrachtet die Nachhaltigkeit von Nanoprodukten.

Eine pdf-Version des Leitfadens steht zum Download auf [www.empa.ch/licara](http://www.empa.ch/licara) bereit.



Die Empa besitzt grosse Erfahrung bei Sicherheitsinfos für bestimmte Branchen: Bereits im Jahr 2011 hat sie zusammen mit dem Textilverband Schweiz TVS den Leitfaden «Nano Textiles» für den sicheren Zu- und Umgang mit der Nanotechnik in der Textil- und Bekleidungsindustrie herausgegeben.

Kleines Neujahrspäsent:

Empa-Tischkalender

2015

*Den beliebten Tischkalender mit eindrücklichen Bildern aus der Empa-Forschungswelt gibt es nirgends zu kaufen:*

*Er wird nur verschenkt. Schreiben Sie uns eine Mail mit Ihrer Adresse an [info@newsletter.empa.ch](mailto:info@newsletter.empa.ch)*

*Wenn Sie zu den 25 Schnellsten gehören, liegt der Kalender in CD-Format bald in Ihrem Briefkasten.*



## Veranstaltungen

**21. Januar 2015**

**Additive Manufacturing**

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft  
Empa, Dübendorf

**27. Januar 2015**

**Kritische Materialien**

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft  
Empa, Dübendorf

**2. Februar 2015**

**Hightech-Keramiken –  
Grundlagen und Anwendungen**

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft  
Empa, Dübendorf

**24. Februar 2015**

**Aerogel – Revolution in der Wärmedämmung**

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft  
Empa, Dübendorf

**25. Februar 2015**

**Power-to-Gas in der Mobilität**

Zielpublikum: Industrie und Wirtschaft  
Empa, Dübendorf

**26. Februar 2015**

**Swiss Practice an der Empa-Akademie**

Zielpublikum: Führungskräfte der Schweizer Wirtschaft  
Empa, Dübendorf

**22. Mai 2015**

**Fachkongress Energie & Bauen**

Zielpublikum: Fachleute aus den Bereichen  
Energie und Bauen  
St. Gallen, Olma Messen

Details und weitere Veranstaltungen unter

[www.empa-akademie.ch](http://www.empa-akademie.ch)

Ihr Zugang zur Empa:



portal@empa.ch  
Telefon +41 58 765 44 44  
[www.empa.ch/portal](http://www.empa.ch/portal)